

표적 구분을 위한 ISAR 영상 기법에 대한 연구

A Study on ISAR Imaging Algorithm for Radar Target Recognition

박 종 일 · 김 경 태

Jong-Il Park · Kyung-Tae Kim

요 약

ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상은 표적에 대한 RCS(Radar Cross Section)를 2차원 공간에 표현하며, 표적구분에 이용될 수 있다. 2차원 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 이용하여 쉽고 빠르게 ISAR 영상을 만들 수 있다. 하지만 IFFT를 이용하여 만든 ISAR 영상은 측정된 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작아질 경우 해상도가 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위해 AR(AutoRegressive), MUSIC(Multiple Signal Classification), Modified MUSIC과 같은 고해상도 스펙트럼 예측 기법을 이용하여 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작아도 높은 해상도의 ISAR 영상을 만들 수 있다. 본 논문에서는 IFFT, AR, MUSIC, Modified MUSIC 기법을 적용하여 만든 ISAR 영상을 이용하여 표적 구분에 이용하고, 표적 구분에 적절한 ISAR 영상을 얻기 위한 고해상도 기법을 연구한다. 그리고 표적 구분 결과를 보여준다.

Abstract

ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) images represent the 2-D(two-dimensional) spatial distribution of RCS (Radar Cross Section) of an object, and they can be applied to the problem of target identification. A traditional approach to ISAR imaging is to use a 2-D IFFT(Inverse Fast Fourier Transform). However, the 2-D IFFT results in low resolution ISAR images especially when the measured frequency bandwidth and angular region are limited. In order to improve the resolution capability of the Fourier transform, various high-resolution spectral estimation approaches have been applied to obtain ISAR images, such as AR(AutoRegressive), MUSIC(Multiple Signal Classification) or Modified MUSIC algorithms. In this study, these high-resolution spectral estimators as well as 2-D IFFT approach are combined with a recently developed ISAR image classification algorithm, and their performances are carefully analyzed and compared in the framework of radar target recognition.

Key words : ISAR, IFFT, AR, MUSIC, Modified MUSIC

I. 서 론

ISAR 영상은 스펙트럼 예측 기법을 이용하여 표적에 대한 레이더 반사 특성을 2차원으로 보여준다. 그래서 ISAR 영상은 RCS(Radar Cross Section) 데이터를 이용한 표적의 RCS 증상 분석(diagnostic analysis)^{[1],[2]} 및 구분^[3]에 이용된다. 본 논문은 ISAR 영상을 이용하여 표적 구분을 위한 ISAR 영상 생성 기

법 및 신호 처리 기법을 다룬다.

ISAR 영상은 레이더를 이용하여 측정한 RCS 데이터를 내삽(interpolation) 과정을 수행한 후 데이터의 PSD(Power Spectrum Density)를 계산함으로써 생성할 수 있다. 이는 RCS 데이터를 2차원 IFFT를 한 것과 같다. IFFT에 근거한 ISAR 영상은 잡음에 강하며 계산이 빠른 장점이 있다. 하지만 주파수 대역 폭과 관찰 각도가 작을 경우, IFFT 기법을 통해 얻은

영남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Yeungnam University)

· 논문 번호 : 20071023-118

· 수정완료일자 : 2007년 12월 3일

ISAR 영상은 낮은 해상도를 가진다^[4]. IFFT 기법의 낮은 해상도를 해결하기 위하여 AR, MUSIC, Modified MUSIC 등의 고해상도 스펙트럼 예측 기법을 이용함으로써 더 높은 해상도의 ISAR 영상을 얻을 수 있다^[4]. IFFT 기법을 이용한 ISAR 영상의 해상도에 영향을 주는 변수는 주파수 대역 폭과 관찰 각도이다. 하지만 고해상도 기법을 이용한 ISAR 영상들은 주파수 대역 폭과 관찰 각도 이외에도 부배열(subarray)의 크기에 따라 ISAR 영상의 해상도가 변하게 된다. 위의 네 가지 기법으로 얻어진 ISAR 영상을 표적 구분에 이용하고 표적 구분 성능을 평가한다.

고해상도 기법을 이용한 ISAR 영상을 표적 구분에 적용하면 해상도뿐만 아니라 부배열의 크기에 따른 다이내믹 레인지(dynamic range)의 변화도 구분 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 적절한 특성 벡터를 구분에 이용하는 것이 계산 시간도 줄이고 구분 성능을 향상시킨다^[5]. 다이내믹 레인지는 영상에서 최대 화소값과 최소 화소값의 차이이다. 본 논문에서는 IFFT를 이용한 ISAR 영상에 대한 극사상 과정^{[5],[12]}과 PCA(Principal Component Analysis)^{[6],[7]}를 통하여 추출한 특성 벡터가 고해상도 스펙트럼을 이용한 ISAR 영상의 표적 구분에 적절한지 평가한다. 각각의 고해상도 기법으로 얻어진 ISAR 영상의 해상도와 다이내믹 레인지가 구분 성능에 미치는 영향을 알아보고 구분 성능의 향상을 위한 최적의 부배열의 크기를 실험적으로 찾는다.

II. ISAR 영상 기법 및 구분

2-1 ISAR 영상 기법 - IFFT

샘플링 주파수 f 와 방위각 θ 에서의 L 개의 산란원을 가지는 표적에 대한 RCS 데이터는 다음과 같다.

$$y(f) = \sum_{k=1}^L a_k \exp\left(j \frac{4\pi f}{c} r_k\right) + n \quad (1)$$

$$r_k = x_k \cos \theta - y_k \sin \theta \quad (2)$$

여기서, r_k , a_k 는 k 번째 산란원의 위치 및 크기, n 은 평균이 0이고, 분산이 σ^2 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 그리고 c 는 빛의 속도이다. 측정된 RCS 데이터는 (f, θ) 공간은 내삽을 통해 (f_x, f_y) 공간으로 나타낼 수 있다. 이때, (f_x, f_y) 는 일정한

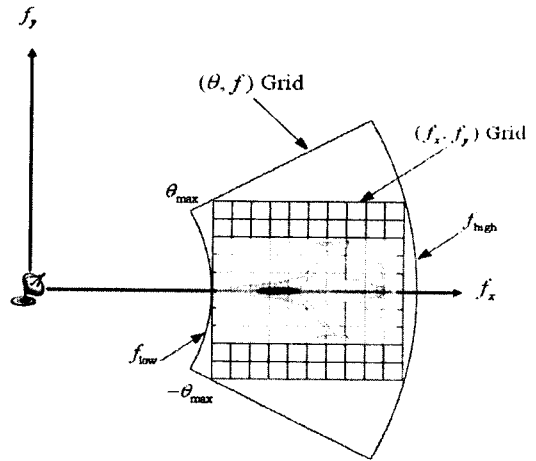


그림 1. 내삽을 통해 (f, θ) 공간을 (f_x, f_y) 공간으로 나타냈다.

Fig. 1. Transposition (f, θ) space to (f_x, f_y) space using interpolation.

간격을 가지는 직교 격자 형태로 만든다. 만약, 관찰 각도가 클 경우에 내삽 과정을 거치지 않고 ISAR 영상을 생성하면 영상의 왜곡(distortion)이 발생한다. 또한, 내삽 개수가 커질수록 계산 시간이 증가한다.

Periodogram은 스펙트럼 예측 기법으로 다음과 같이 정의하며, 이는 IFFT를 이용한다.

$$P = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^N y(f) e^{j2\pi n f t} \right|^2 \quad (3)$$

결국, 2차원 IFFT를 통해 ISAR 영상을 얻을 수 있다.

2-2 ISAR 영상 기법 - AR

AR 기법은 순방향 선형 예측과 역방향 선형 예측을 기초로 한다^[8].

$$P_{AR}(x, y) = \frac{1}{\left| 1 + \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L a_{ij} z_1^{-i} z_2^{-j} \right|^2 + \left| 1 + \sum_{i=1}^L \sum_{j=0}^L b_{ij} z_1^{-i} z_2^{-j} \right|^2} \quad (4)$$

$i = j \neq 0$

여기서 a_{ij} , b_{ij} 는 AR 계수, L 은 AR 차수, N 은 데이터 샘플수이다. 순방향 선형 예측 식은 a_{ij} 를 구하는데 이용되며, 역방향 선형 예측 식은 b_{ij} 를 구하는데 이용된다. 위 식의 극점이 산란점의 위치가 된다.

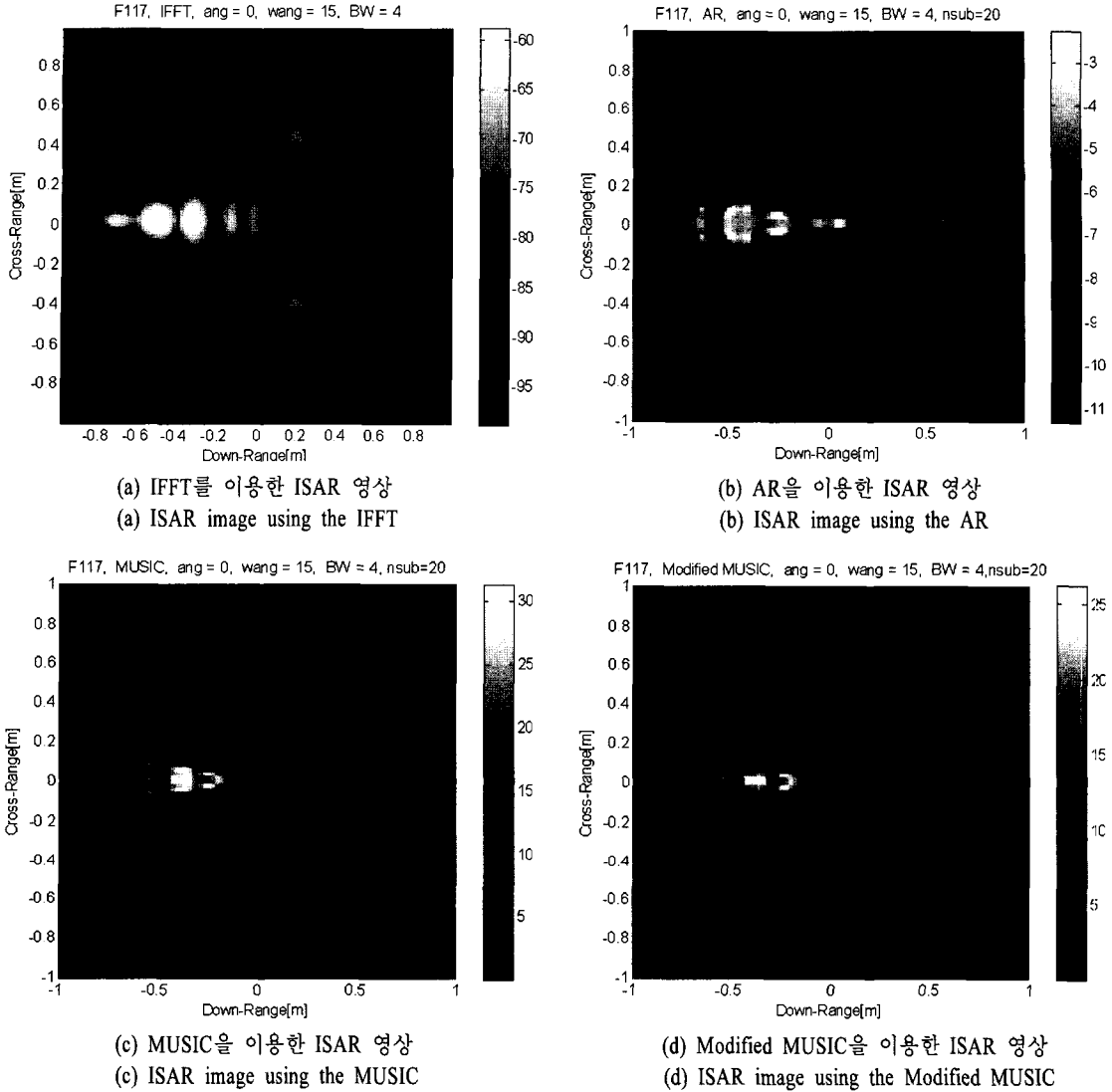


그림 2. 각도 영역이 30°(-15°~15°)이고, 주파수 대역 폭이 4 GHz인 데이터를 이용한 ISAR 영상
Fig. 2. ISAR images of the data whose angular region is 30°(-15°~15°) and frequency bandwidth is 4 GHz.

2-3 ISAR 영상 기법 - MUSIC

측정된 데이터를 이용하여 공분산 행렬을 구할 수 있으며, 공분산 행렬은 신호와 잡음 두 개의 하위 공간으로 구성된다. MUSIC 기법은 공분산 행렬(covariance matrix)의 신호와 잡음의 고유 벡터(eigen vector)가 서로 직교하는 성질을 기반으로 한다^{[9],[10]}. 이때, 순방향 역방향 평균(forward backward averaging)을 이용하여 공분산 행렬을 예측하였다.

$$P_{MUSIC}(x, y) = \frac{e(x, y)^H e(x, y)}{e(x, y)^H E_n E_n^H e(x, y)} \quad (5)$$

$e(x, y)$ 는 방향 벡터 또는 모드(mode) 벡터라고 하며, E_n 은 공분산 행렬의 잡음의 고유 벡터이고, H 는 켈레 복소 변환(complex conjugate transpose)이다. 방향 벡터의 위치가 산란점의 위치와 일치하면 방향 벡터와 잡음 고유 벡터가 직교하기 때문에 위 식은 극값을 가진다.

2-4 ISAR 영상 기법 - Modified MUSIC

측정 데이터의 Hankel block 행렬의 block 행렬과 특이치 분해(singular value decomposition)를 통해 얻은 신호에 대한 행렬이 같은 신호의 부분 공간을 나

타낸다. 이를 통해 두 행렬간의 변환 행렬(transpose matrix)이 존재하게 되고, block 행렬의 의사 역행렬(pseudo-inverse matrix)을 이용하여 공분산 행렬을 만들었다. 이렇게 만들어진 공분산 행렬을 식 (5)의 MUSIC 기법에 적용하였다^[11].

그림 2는 네 가지 기법을 적용하여 F117 모형에 대한 ISAR 영상을 보여준다.

2-5 ISAR 영상 구분

본 논문에서 사용한 표적 구분 신호 처리 기법은 극사상법을 이용하였다. 극사상법에 대한 내용은 논문^[5]("Efficient classification of ISAR images", IEEE Transactions on Antennas and propagation)에 자세히 기술되어 있으므로, 본 논문에서는 ISAR 영상 생성 및 구분 실험의 결과만을 분석한다.

III. 실험 및 결과

표적 구분을 위한 6개의 비행기(F4, F14, F16, F22, F117, Mig29) 모형을 이용하여 구분 실험을 하였다. 이들의 RCS 데이터는 0°~180°의 ISAR 영상을 얻기 위해 포항공대 단축거리 무반향실에서 X-band (8.3~12.3 GHz)의 주파수 대역 폭을 갖고 30°의 각도 영역(angular region)을 가지는 신호를 표적에 조사하여 RCS 데이터를 획득하였다. 송신단과 수신단 모두 수직 편파를 사용하였다. 수신 신호에 30 dB의 AWGN을 독립적으로 10번 첨가하여 10회의 Monte-Carlo 실험을 하였다. 잡음을 첨가한 데이터를 내삽한

후 IFFT, AR, MUSIC, Modified MUSIC 기법을 적용하여 100×100의 화소를 가지는 ISAR 영상을 만들었다. 각각의 표적에 대한 ISAR 영상의 수는 181개이고, 전체 ISAR 영상의 수는 181×6=1,086개가 된다. 1,086개의 ISAR 영상 중에서 각 표적의 훈련 데이터는 각도를 10°씩 증가시켜 18×6=108개의 ISAR 영상으로 데이터 베이스를 구성하였다. 그리고 나머지 978개의 ISAR 영상을 테스트 데이터로 구성하여 구분 실험을 하였다. 구분 성능은 전테 테스트 데이터 중에서 정확히 인식된 수의 비율로 정의한다.

$$P_c = \frac{\text{올바르게 구분한 수}}{\text{전체 테스트수}} \times 100[\%] \quad (6)$$

극사상 영상을 얻기 위해 반지름 방향으로 50개, 각도 방향으로 50개의 특성 벡터를 얻었고, PCA를 이용한 특성 벡터의 수는 20개로 하였다^{[5],[12]}. 따라서 훈련 데이터의 수는 (50+50+20)×108=12,960개로 원래의 ISAR 영상의 데이터 수가 (100×100×108)=1.08×10⁶개인 것과 비교하면 약 1.2 %에 불과하다. 테스트 영상은 ISAR 영상을 0×2 π 사이에서 임의의 각도로 회전시키고 1~1√2 사이의 크기를 갖도록 변화를 주었다.

IFFT를 제외한 고해상도 기법에서 해상도에 영향을 주는 변수는 주파수 대역 폭과 각도 영역뿐만 아니라 AR의 경우에는 차수, MUSIC의 경우에는 공분산행렬의 크기, Modified MUSIC은 Hankel 블록 행렬의 크기가 해상도에 영향을 미치게 된다. 이러한 값들을 부배열이라 정의한다. 부배열은 하나의 화소를

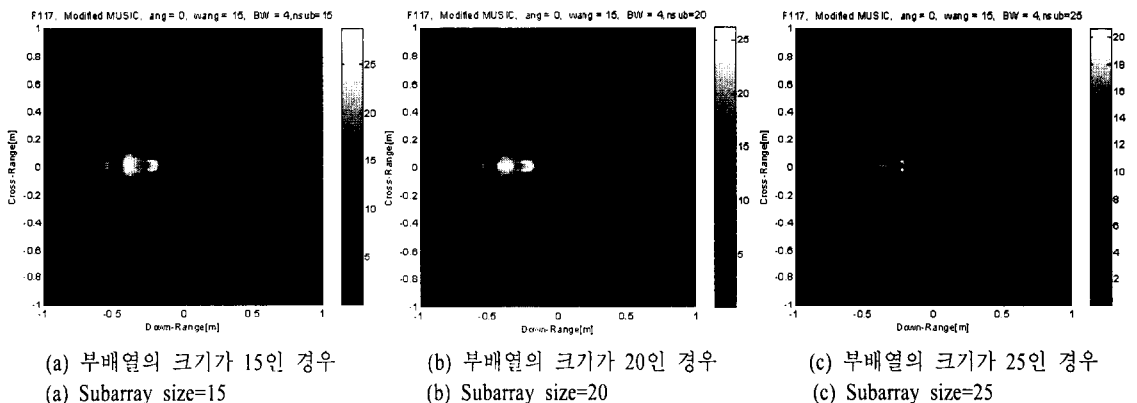


그림 3. Modified MUSIC을 이용한 부배열에 따른 ISAR 영상
Fig. 3. ISAR images using the Modified MUSIC versus the subarray size.

표현하기 위한 내삽 데이터 수가 된다. 부배열이 클수록 하나의 화소를 표현할 때 더 많은 데이터를 이용하게 됨으로써 해상도를 높일 수 있다. 하지만 부배열의 크기가 커질수록 계산 시간이 증가하는 단점이 발생한다. IFFT를 이용한 ISAR 영상은 주파수 대역 폭과 각도 영역이 클수록 높은 해상도를 보인다. 하지만 AR, MUSIC, Modified MUSIC 기법을 적용한 ISAR 영상은 주파수 대역 폭과 각도 영역뿐만 아니

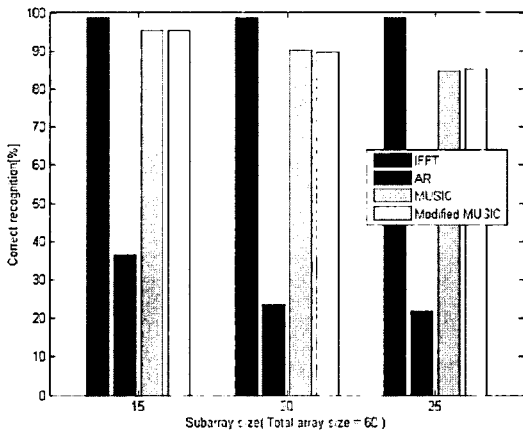
라 부배열의 크기 변화에 따라 해상도가 변하게 된다. 해상도가 구분 성능에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위하여, IFFT를 적용한 ISAR 영상을 이용하여 얻은 구분 성능을 기준으로 하여 AR, MUSIC, Modified MUSIC의 ISAR 영상을 부배열 크기 변화에 따른 구분 성능을 평가하였다.

3-1 실험 1 - 광대역 데이터를 이용한 표적 구분

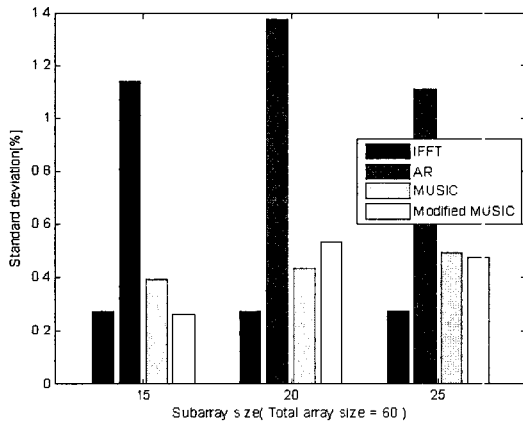
4 GHz의 주파수 대역 폭과 $30^\circ(-15^\circ \sim 15^\circ)$ 의 각도 영역에 대한 RCS 데이터를 이용한다. 30dB의 AWGN을 첨가하여 새롭게 얻은 데이터를 내삽과정을 거친 후 IFFT, AR, MUSIC, Modified MUSIC 기법을 적용하여 각각의 기법에 대한 ISAR 영상을 만들었다. 이때 내삽의 개수는 60개이다.

그림 2는 F117 모형에 대한 각각의 ISAR 영상 기법을 적용하여 얻은 영상이며, 오른쪽 막대는 그에 따른 다이내믹 레인지를 보여준다. 모든 기법의 ISAR 영상들이 대체적으로 높은 해상도를 보여주고 있다. 그 이유는 주파수 대역 폭과 각도 영역이 크기 때문에 ISAR 영상의 해상도가 높게 나타난다. 그림 2(b)의 AR을 이용한 ISAR 영상에서 잡음과 비슷한 부분이 나타난다. 그 이유는 AR 기법이 가지는 사이드 로브(side lobe)의 영향 때문이다. 이러한 사이드 로브의 영향은 구분 성능을 떨어뜨리게 한다.

각각의 기법을 적용한 ISAR 영상의 다이내믹 레



(a) 구분 확률
(a) The correct recognition rate



(b) 표준 편차
(b) The standard deviation

그림 4. 각도 영역이 $30^\circ(-15^\circ \sim 15^\circ)$ 이고, 주파수 대역 폭이 4 GHz인 데이터를 이용한 ISAR 영상의 부배열 개수에 따른 구분 성능 변화

Fig. 4. The correct recognition rate versus the subarray using ISAR images of the data whose angular region is $30^\circ(-15^\circ \sim 15^\circ)$ and frequency bandwidth is 4 GHz.

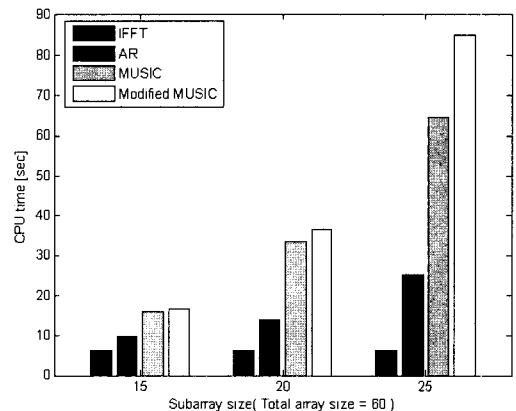
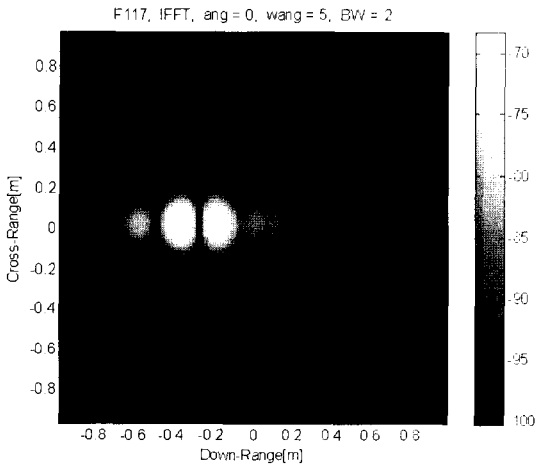


그림 5. 부배열 크기에 따른 ISAR 영상 생성 시간
Fig. 5. Computation time for making an ISAR image versus the subarray size.

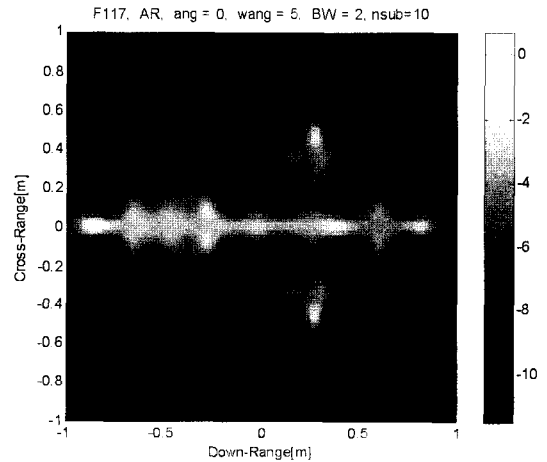
인지의 크기를 보면 $IFFT(40\text{ dB}) > MUSIC(30.5\text{ dB}) \approx \text{Modified MUSIC}(29.5\text{ dB}) > \text{AR}(11.5\text{ dB})$ 로 나타난다. 다이내믹 레인지는 구분 확률을 결정짓는 중요한 변수가 된다. 그 이유는 다이내믹 레인지의 크기가 클수록 산란이 일어나는 부분과 일어나지 않는 부분의 차이를 잘 표현할 수 있기 때문이다.

그림 3은 Modified MUSIC 기법에 대한 부배열의 크기 변화에 따른 ISAR 영상을 보여준다. 부배열의 크기가 증가할수록 영상의 해상도는 증가하고, 다이내믹 레인지의 크기는 감소한다. 이러한 현상은 AR, MUSIC 기법의 ISAR 영상에서도 동일하게 나타난다.

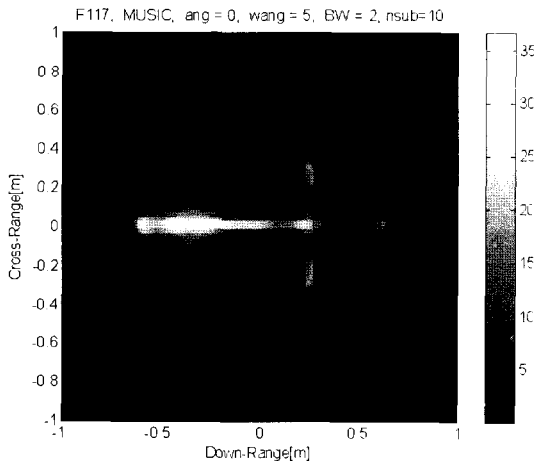
다. 그림 4는 10번의 Monte-Carlo 구분 실험을 하여 나타낸 결과이다. 이 경우에 부배열의 크기를 15, 20, 25로 증가시키면서 만든 ISAR 영상을 구분 알고리즘에 적용한 결과를 보여준다. 그림 4(a)는 부배열의 크기에 따른 구분 확률을 보이며, 그림 4(b)는 그에 따른 표준편차를 보여준다. 이 경우에는 IFFT 기법이 가장 높은 구분 확률을 보이며, MUSIC, Modified MUSIC 기법에 비해 약 3% 정도 구분 확률이 높게 나타났다. 이는 주파수 대역 폭과 각도 영역이 넓은 경우에는 고해상도 기법을 ISAR 영상을 얻기 위해 사용할 필요가 없다는 것을 보여준다. 하지만 실제



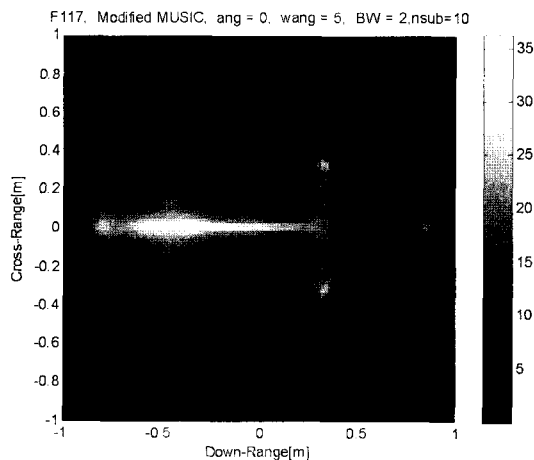
(a) IFFT를 이용한 ISAR 영상
(a) ISAR image using the IFFT



(b) AR을 이용한 ISAR 영상
(b) ISAR image using the AR



(c) MUSIC을 이용한 ISAR 영상
(c) ISAR image using the MUSIC



(d) Modified MUSIC을 이용한 ISAR 영상
(d) ISAR image using the Modified MUSIC

그림 6. 각도 영역이 $10^\circ(-5^\circ \sim 5^\circ)$ 이고 주파수 대역 폭이 2 GHz인 데이터를 이용한 ISAR 영상
Fig. 6. ISAR images of the data whose angular region is $10^\circ(-5^\circ \sim 5^\circ)$ and frequency bandwidth is 2 GHz.

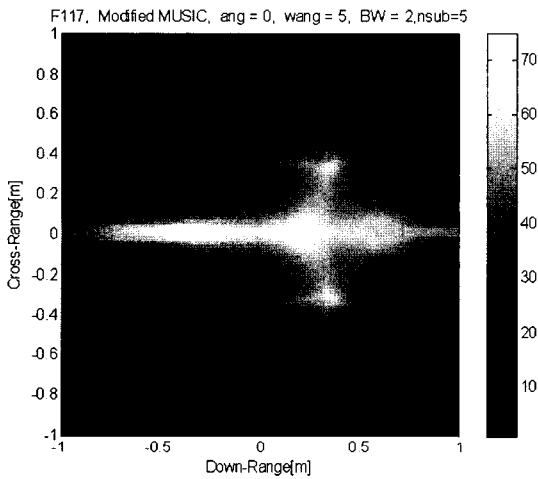
상황에서는 주파수 대역 폭과 각도 영역이 넓은 RCS 데이터를 얻을 수 있는 시스템을 구현하기는 어렵다. 그림 5는 전체 내삽 개수가 60개일 경우에 부배열의 크기에 따른 ISAR 영상의 생성 시간을 보여준다. 부배열의 크기가 클수록 ISAR 영상의 생성 시간이 더욱 오래 걸리는 것을 알 수 있다.

3-2 실험 2 - 협대역 데이터를 이용한 표적 구분

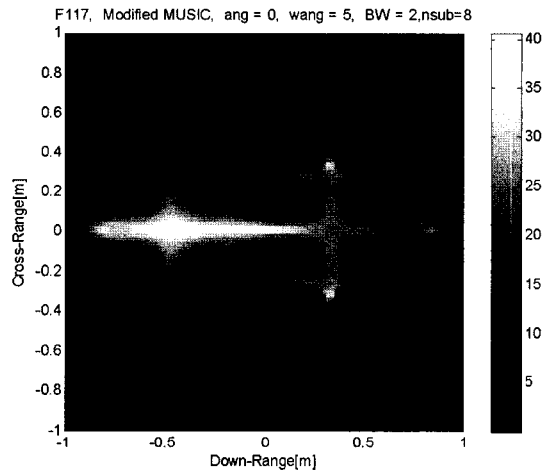
전체 측정 데이터 중에서 2 GHz의 주파수 대역

폭과 $10^\circ(-5^\circ\sim 5^\circ)$ 의 각도 영역을 갖는 신호에 대한 RCS 데이터를 이용하였다. RCS 데이터에 30 dB의 AWGN을 첨가하여 새롭게 얻은 데이터를 내삽과정을 거치고 IFFT, AR, MUSIC, Modified MUSIC 기법을 적용하여 각각의 기법에 대한 ISAR 영상을 만들었다. 이때 내삽 개수는 30개이다.

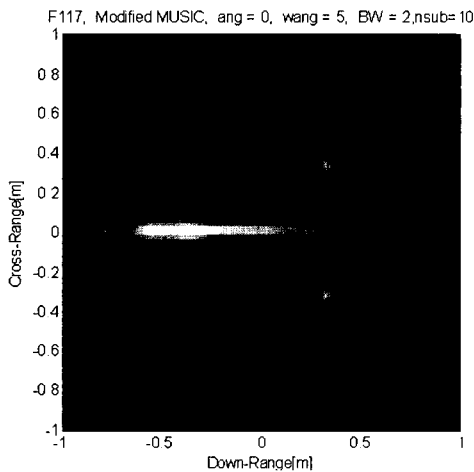
그림 6은 F117 모형에 해당하는 각각의 ISAR 영상 기법을 적용하여 얻은 영상이며, 오른쪽 막대는 그에 따른 다이내믹 레인지를 보여준다. 그림 6(a)는 IFFT를 적용한 ISAR 영상으로 산란점을 정확하게



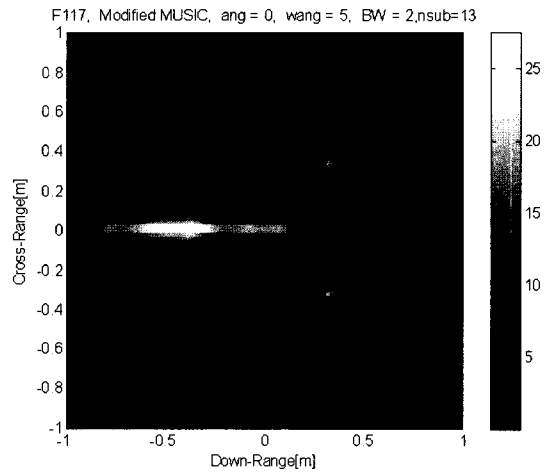
(a) 부배열의 크기가 5인 경우
(a) Subarray size=5



(b) 부배열의 크기가 8인 경우
(b) Subarray size=8



(c) 부배열의 크기가 10인 경우
(c) Subarray size=10



(d) 부배열의 크기가 13인 경우
(d) Subarray size=13

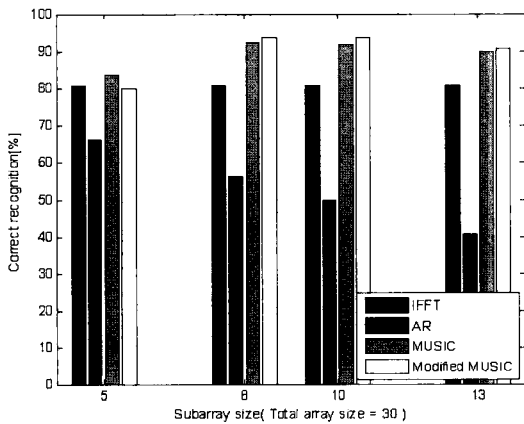
그림 7. Modified MUSIC을 이용한 부배열의 크기에 따른 ISAR 영상
Fig. 7. ISAR images using the Modified MUSIC versus the subarray size.

표현하지 못하고 있다. 즉, IFFT를 이용한 ISAR 영상은 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작을 경우에는 낮은 해상도를 보여준다. 그에 비해 그림 6(b)의 Modified MUSIC 기법을 적용한 ISAR 영상은 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작더라도 IFFT에 비해 상대적으로 산란점을 세밀하게 표현하고 있으며, 그림 6(c)의 MUSIC 기법의 ISAR 영상은 Modified MUSIC 기법의 ISAR 영상과 비슷한 해상도를 보인다. 그리고 그림 6(b)의 AR 기법을 이용한 ISAR 영상은 여전히

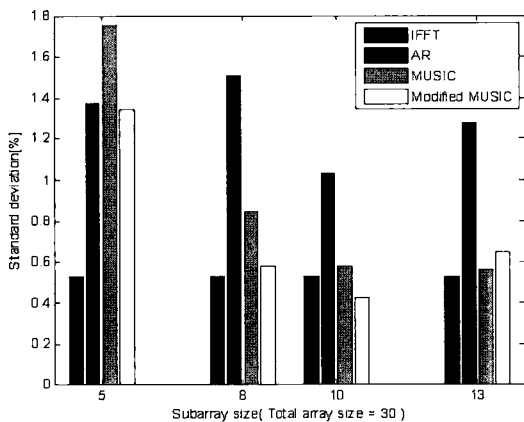
잡음처럼 사이드 로브의 영향이 나타나고 있다.

각각의 기법을 적용한 ISAR 영상의 다이내믹 레인지의 크기를 보면 MUSIC(36 dB) > Modified MUSIC(35.5 dB) > IFFT(32 dB) > AR(11 dB)로 MUSIC 기법의 ISAR 영상의 다이내믹 레인지의 크기가 가장 크게 나타났다. MUSIC 기법과 Modified MUSIC 기법을 적용한 ISAR 영상의 경우에 실험 1에 비해 다이내믹 레인지의 크기가 약 5.5 dB 정도 증가하였다. 그리고, 실험 2의 경우에는 MUSIC과 Modified MUSIC 기법을 이용한 영상의 다이내믹 레인지가 가장 높게 나타나며, IFFT 기법의 영상의 다이내믹 레인지의 크기는 다소 작은 크기를 보이며, AR 기법의 영상은 매우 작은 크기를 보인다.

그림 7은 부배열의 크기가 5, 8, 10, 13일 때의 Modified MUSIC 기법의 ISAR 영상의 해상도와 다이내믹 레인지의 크기 변화를 보여준다. 그림 8에서 보듯이 부배열의 크기가 커질수록 해상도가 증가하지만 다이내믹 레인지의 크기가 감소한다. 이러한 현상은 다른 고해상도 기법의 ISAR 영상에서도 발생한다. 그림 8은 앞서 만든 ISAR 영상을 표적 구분 알고리즘에 적용한 결과를 보여준다. 그림 8(a)는 부배열의 크기에 따른 올바르게 구분한 확률이며, 그림 8(b)는 그에 따른 표준편차를 보여준다. 그림에서 보듯이 실험의 결과는 부배열의 크기가 7일 경우에는 MUSIC 기법이 IFFT, Modified MUSIC 기법보다 약 2.5~4% 정도 높은 구분 성능을 보인다. 그러나



(a) 구분 확률
(a) The correct recognition rate



(b) 표준 편차
(b) The standard deviation

그림 8. 각도 영역이 10°(-5°~5°)이고, 주파수 대역 폭이 4 GHz인 데이터를 이용한 ISAR 영상의 부배열 개수에 따른 구분 성능 변화

Fig. 8. The correct recognition rate versus the subarray using ISAR images of the data whose angular region is 10°(-5°~5°) and frequency bandwidth is 4 GHz.

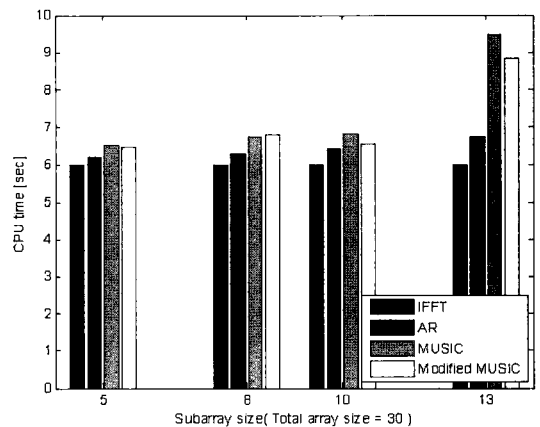


그림 9. 부배열 크기에 따른 ISAR 영상 생성 시간
Fig. 9. Computation time for making an ISAR image versus the subarray size.

부배열의 크기가 8 이상이 되면 MUSIC과 Modified MUSIC 기법이 IFFT 기법에 비해 9~12 % 정도 높은 성능을 보이게 된다. 그리고 그림 9(b)에서 Modified MUSIC 기법이 IFFT 기법보다 큰 표준 편차를 보이지만 성능차가 9~12 %인 것을 감안하면 그 차이는 매우 작다. 그리고 그림 9는 전체 내삽 개수가 30개일 경우에 부배열의 크기에 따른 ISAR 영상의 생성시간을 보여준다. 부배열의 크기가 전체 내삽 개수의 1/3 이하일 경우에 IFFT 기법의 ISAR 영상 생성 시간에 비해 고해상도 기법의 ISAR 영상의 생성 시간이 거의 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

높은 해상도의 ISAR 영상을 표적 구분에 이용하면 구분 성능을 높일 수 있다. ISAR 영상의 해상도를 높이기 위한 일반적인 방법인 주파수 대역 폭과 각도 영역을 넓히면 된다. 하지만 이러한 조건은 시스템을 만들 때 걸림돌이 된다. 그래서 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작은 경우에도 신뢰할 수 있는 구분 성능을 보여야 한다. 실험 1의 조건과 같이 주파수 대역 폭과 각도 영역이 넓은 경우, IFFT를 이용한 ISAR 영상을 표적 구분에 이용하면 높은 성능을 얻을 수 있으며 영상을 만드는 시간도 가장 짧다. 하지만 실험 2에서처럼, 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작을 경우 구분 성능이 크게 저하된다. 즉, IFFT 기법은 표적 구분에 이용하기 어렵다. 하지만 다른 고해상도 스펙트럼 예측 기법의 경우, 실험 2의 조건에서도 IFFT 기법에 비해 높은 해상도의 ISAR 영상을 얻을 수 있다. 부배열의 크기를 증가시키면 고해상도 스펙트럼 예측 기법을 이용한 ISAR 영상의 해상도는 높아진다. 하지만 다이내믹 레인지의 크기를 감소시켜 구분 성능이 떨어지는 결과가 발생한다. 즉, 해상도뿐만 아니라 다이내믹 레인지의 크기가 구분 성능에 크게 영향을 미치게 된다. 해상도와 다이내믹 레인지의 크기를 적절히 조절함으로써 높은 구분 성능을 얻을 수 있다. 고해상도 ISAR 영상 기법에서 부배열의 크기는 전체 내삽 개수의 1/4로 선택하면 가장 높은 구분 성능을 얻을 뿐만 아니라 ISAR 영상을 만드는 시간도 IFFT 기법과 비슷한 결과를 얻을 수 있다.

결론적으로 고해상도 스펙트럼 기법을 이용하고 부배열의 크기를 전체 내삽 개수의 1/4로 선택함으로써 주파수 대역 폭과 각도 영역이 작더라도 주파수 대역 폭과 각도 영역이 큰 경우에 비해 성능의 저하를 최소화 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Dean L. Mensa, *High Resolution Radar Cross-Section Imaging*, Norwood, MA: Artech House, 1991.
- [2] A. Zyweck, R. E. Bogner, "High-resolution radar imagery of the mirage III aircraft", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, pp. 1356-1360, Sep. 1994.
- [3] S. Musman, D. Kerr, and C. Bachmann, "Automatic recognition of ISAR ship images", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 32, pp. 1392-1404, Oct. 1996.
- [4] Petre Stoica, Randolph L. Moses, *Introduction to Spectral Analysis*, Prentice-Hall, 1997.
- [5] K. -T. Kim, D. -K. Seo, and H. -T. Kim, "Efficient Classification of ISAR images", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, pp. 1611-1621, May 2005.
- [6] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern Classification*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [7] S. Theodoridis, K. Koutroumbas, *Pattern Recognition*, Academic Press, 1999.
- [8] K. -T. Kim, S. -W. Kim, and H. -T. Kim, "Two-dimensional ISAR imaging using full polarization and super-resolution processing techniques", *IEE Proceedings Radar, Sonar, and Navigation*, vol. 145, pp. 240-246, Aug. 1998.
- [9] K. -T. Kim, D. -K. Seo, and H. -T. Kim, "Efficient radar target recognition using the MUSIC algorithm and invariant features", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, pp. 325-337, Mar. 2002.
- [10] J. W. Odendaal, E. Barnard, and C. W. I Pistorius, "Two-dimensional superresolution radar imaging

using the MUSIC algorithm", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, pp. 1386-1391, Oct. 1994.

[11] Yingbo Hua, "Estimating two-dimensional frequencies by matrix enhancement and matrix pencil",

IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 40, pp. 2267-2280, Sep. 1992.

[12] 김경태, 박종일, 신영남, "극사상법을 이용한 효율적인 ISAR 영상 구분", *한국전자과학회논문지*, 16(3), pp. 335-343, 2005년 5월.

박 종 일



적인식, 패턴인식

2002년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)

2005년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)

2006년 2월~현재: 영남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 레이더 신호 처리, 표

김 경 태



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)

1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)

1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)

1999년 3월~2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 연구원

2001년 3월~2002년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 연구조교수

2002년 3월~2004년 3월: 영남대학교 전자정보공학부 전임강사

2004년 4월~2008년 2월: 영남대학교 전자정보공학부 조교수

2008년 3월~현재: 영남대학교 전자정보공학부 부교수

[주 관심분야] 레이더 신호 처리, 표적인식, 레이더 영상, 패턴인식